ISSN 1561-5359. Штучний інтелект, 2019, № 1-2

УДК 004.42

И.Б. Карымсакова[1], Н.Ф. Денисова[1], Ю.В. Крак[2]
[1]Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д.Серикбаева, Республика Казахстан
ул. Серикбаева, 19 г. Усть-Каменогорск, 070000
[2]Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Украина
ул. Владимирская, 64/13, г.Киев, 01601

РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОКРЫТИЙ

I.B. Karymsakova[1], N.F.Denissova[1], Iu.V. Krak[2]
[1]D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, Kazakhstan
19, Serikbayev St., Ust-Kamenogorsk, 070000
[2]Taras Shevchenko National University, Ukraine
64/13, Volodymyrska St., Kyiv, 01601

DEVELOPMENT OF A ROBOTIC PLASMA SPRAYING SYSTEM FOR BIOCOMPATIBLE COATINGS

Представлены результаты по разработке базы данных имплантов и установок плазменного напыления в MS SQL Server 2012. Приведено проектирование инфологической модели, даталогическое проектирование, физическое проектирование, архитектура программно-аппаратного комплекса. Исследованы возможности плазменного напыления имплантов биосовместимыми элементами. Разработана система классификации имплантов по типу применения и материалам изготовления, классифицированы импланты по геометро-топологическим размерам составляющих. Описана схема плазменного напыления металлических и керамических поверхностей деталей и узлов с использованием роботизированного комплекса.

Ключевые слова: импланты, классификация, база данных, плазменное напыление, роботизированные установки

The results of the development of the database of implants and plasma deposition plants in MS SQL Server 2012 are presented. The design of the infological model, the data design, the physical design, the architecture of the software and hardware complex are given. Possibilities of plasma spraying of implants with biocompatible elements are investigated. The system of classification of implants according to the type of application and manufacturing materials has been developed, implants have been classified according to the geometric-topological dimensions of the components. A scheme of plasma spraying of metal and ceramic surfaces of parts and assemblies using a robotic complex is described.

Keywords: implants, classification, plasma spraying, robotic installations

Введение

Выпуск титановой продукции в Восточно-Казахстанской области является важнейшей задачей для дальнейшего использования в медицине. Использование современных производственных решений в процессах напыления имплантов является актуальной задачей на сегодняшний день. Решение этой задачи оказалось достаточно сложным и специалистам с робототехники пока не удается создать как полноценный искусственный интеллект, так и конечности, которые не уступали бы в гибкости, точности и подвижности рукам и ногам человека [1].

Роботы для плазменного напыления и программное обеспечение позволяют наносить функциональные покрытия с точностью до нескольких микрометров, что позволяет существенно сокращать расход материалов, осуществлять манипуляции, отображать технологические параметры и управлять ими в процессе напыления. Роботизированные комплексы для плазменного напыления позволяют обеспечить цикл обработки с высокой производительностью и точностью, позволяют избежать перерывов и производственных ошибок, свойственных человеку [2].

Постановка проблемы

Целью данной статьи является классификация и разработка базы данных имплан-

тов по различным критериям, установок плазменного напыления для последующей разработки системы эффективного управления роботизированным комплексом по плазменному напылению имплантов.

Анализ и классификация имплантов

Импланты - класс изделий медицинского назначения, используемых для вживления в организм человека в виде протезов вместо потерянных или вышедших из строя частей человеческого тела.

По типу применения импланты классифицируются на: имплантация зубов; кохлеарный имплант; стволомозговой имплант; имплантация клапанов сердца; идентификационный имплант; импланты сетчатки; имплант для парализованных конечностей [3].

Производство имплантов является развитой отраслью, в которой задействованы многие фирмы-производители. Ниже приведем названия некоторых известных компаний и фирм-производителей имплантов, данные о которых можно получить из открытых источников (интернета): Nobel Biocare, Straumann, Astra Tech, Ankylos, Xive Friadent, AlphaBio, Ards, MIS, Implantium, Cochlear, Clarion CII Bionic Ear, HiRes 90k, Nucleus 24 Contour, Med-El Combi 40+, Edwards Lifesciences, Labcor Laboratorios Ltda, MEDTRONIC, St.Jude Medical, LABTICIAN, Pixium Vision, Retina Implant, Argus II, eSight, AESCULAP AG, ЭСИ, SL-Plus, Sulfix-60, Palacos, Cemex, Simplex, Bioosteo, Osteobond, CMW, Zimmer, Lima, Metabloc, CLS, Zweymuller, ИСКО, Синко, Aesculap, DePuy, «Алтимед», Stryker, Smith&Nephew, Mitek, HIPREPLACEMENT, OHST, Streicer - Howmedica, Keramed, Имплант МТ, Эндосервис, OppO, Medi, Push, ArtusMed, OttoBock, Orlett и др. При необходимости, можно по этим названиям найти более детальную информацию об этих производителях.

Импланты отличаются физическими размерами, причем эти размеры для каждого случая установки импланта должны быть своими. Это ставит проблему параметрического проектирования таких имплантов. В качестве геометро-топологических параметров используются: длина, диаметр, ширина, длина дуги, длина зажима, диаметр зажима, длина прямоугольника, высота, длина проксимального стебля, длина дистального стебля, диаметр стебля и др. [4].

Таким образом, разработана система классификации имплантов по типу применения и материалам изготовления, классифицированы импланты по геометро-топологическим размерам составляющих для последующего плазменного напыления.

Разработанная база данных предназначена для:

- учета существующих и возможных имплантов различных производителей;
- классификации имплантов по типу применения и материала изготовления;
- классификации имплантов по геометро-топологическим размерам составляющих;
- обновления, записи элементов, добавления новых полей.

Программное обеспечение должно обеспечивать просмотр, редактирование, вставку записей базы данных, формирование запросов и отчетов.

Проектирование инфологической модели

Информационно-логическая модель предметной области является обобщенным неформальным описанием создаваемой базы данных. Это неформальное описание служит основой при создании формальной реляционной модели.

Наиболее распространенным способом разработки инфологической модели является метод ER-диаграмм (метод «сущность-связь»). Суть метода заключается в том, что в предметной области выявляются сущности соответствующие всем присутствующим в предметной области классам объектов. Далее между сущностями выявляются связи. Полученные сущности и связи изображают с помощью ER-диаграмм.

При преобразовании модели ER-типов в реляционную модель данных использовались следующие правила:

- если имеет место степень связи 1:1 и классы принадлежности обеих сущностей обязательны, то формируется одно отноше-

ние, первичным ключом которого может быть первичный ключ любой из сущности;

- если имеет место связь 1:1 и класс принадлежности одной из сущности обязательный, другой – необязательный, то для каждой сущности формируется по одному предварительному отношению. Первичными ключами отношений будут первичные ключи сущностей. В отношении для сущности с обязательным классом принадлежности добавляется внешний ключ в виде атрибута, значения которого должны соответствовать значениям первичного ключа другой сущности;
- Если имеет место связь 1:1 и класс принадлежности обеих сущностей необязательный, то необходимо сформировать три предварительных отношения: по одному – для каждой из сущности, одно – для связи. Ключами для сущностей будут первичные ключи соответствующих сущностей, а отношение связи будет иметь составной первичный ключ, состоящий из атрибутов, ссылающихся на первичные ключи отношений сущности.
- Если имеет место связь 1:N (N:1) и класс принадлежности многосвязной сущности обязательный, то достаточно сформировать по одному предварительному отношению для каждой из сущности. Первичными ключами отношений будут являться первичные ключи соответствующих сущностей. В отношение для многосвязной сущности необходимо добавить атрибут связи, ссылающийся на первичный ключ односвязной сущности;
- Если имеет место связь 1:N (N:1) и класс принадлежности многосвязной сущности необязательный, то необходимо сформировать три предварительных отношения: по одному – для каждой из сущностей, одно – для связи. Первичными ключами в отношениях для сущностей будут первичные ключи соответствующих сущностей. Отношение для связи будет иметь составной первичный из атрибутов, ссылающихся на первичные ключи отношений для сущностей;
- Если имеет место связь N:N, то в любом случае необходимо формирование трех предварительных отношений: по одному – для каждой из сущности, одно – для связи.

В результате построим структуру и схему данных.

Физическая модель базы должна отражать требования конкретной СУБД, в данном случае MS SQL Server 2012, поэтому в ее состав входят таблицы, содержащие сведения об информационных объектах и связях между ними. Все таблицы даталогической модели можно разбить на таблицы с оперативной информацией и таблицы с условно-постоянной информацией.

В базе данных My_DB.db представлены следующие таблицы 1-3, где цифрой 1 обозначено Имя поля, 2 - Тип поля, 3 - Ключевое поле, 4 – Назначение.

Для корректной работы приложения, необходимо следующие аппаратные и системные программные средства:

Microsoft SQL Server — система управления реляционными базами данных (РСУБД), разработанная корпорацией Microsoft. Основной используемый язык запросов - Transact-SQL, создан совместно Microsoft и Sybase. Transact-SQL является реализацией стандарта ANSI/ISO по структурированному языку запросов (SQL) с расширениями. Используется для работы с базами данных размером от персональных до крупных баз данных масштаба предприятия; конкурирует с другими СУБД в этом сегменте рынка.

Использование ADO (ActiveX Data Objects) – прикладного программного интерфейса для доступа к данным, является альтернативой Borland Database Engint (BDE), обеспечивающей более эффективную работу с данными. Для использования этой возможности на вашем компьютере должна быть установка система ADO 2.1 или более старшая версия. Кроме того, должна быть установлена клиентская система доступа к данным, например, Microsoft SQL Server, а в ODBC должен иметь драйвер OLE DB для того типа баз данных, с которыми вы работаете.

Отметим, что приложение разрабатывалось в среде Borland Delphi 7.0.

Таблица 1. Структура таблицы «Импланты»

1	2	3	4
Код_имп лланта	tinyint	Да	Код импланта
Тип_имп лланта	Char (1000)		Тип импланта по классификации
Длина	float		Длина импланта
Диаметр	float		Диаметр импланта
Ширина	float		Ширина импланта
Длина_ду ги	float		Длина дуги импланта
Длина_за жи-ма	float		Длина зажима импланта
Диаметр_ зажима	float		Диаметр зажима импланта

Таблица 2. Структура таблицы «Импланты»

1	2	3е	4
Код_импл анта	tinyint	Да	Код импланта
Тип_имп ланта	Char (1000)		Тип импланта по классифи-кации
Физичес кие размеры	Char (1000)		Длина, ширина импланта
Материал	char(10)		Материал изготовления
Фирма-произво-дитель	Char (1000)		Фирма-произ-водитель имплантов
Длина_ пря-моугольн ика	float		Длина прямоуго-льника импланта
Длина_за жима	float		Длина зажима импланта
Диаметр_ зажима	float		Диаметр зажима импланта
Длина_ прямоуго льника	float		Длина прямоугольни ка импланта
Длина_за жима	float		Длина зажима импланта

Технология плазменного напыления

В производстве металлических имплантатов необходимо выделить следующие этапы: этап изготовления самого импланта и этап обработки его поверхности. Обработка поверхности является важным заключительным этапом, определяющим биотолерантность имплантатов.

Имплантаты из титана и кобальто-хромового состава изготавливают способом литья, фрезерования и токарной обработки, порошковой металлургии, горячей штамповки, электрохимической обработки и штамповки с последующим фрезерованием [5]-[10].

На базе Восточно-Казахстанского Государственного технического университета имени Д.Серикбаева имеется: индустриальный робот фирмы Kawasaki RS-010L, с контроллером E40F-A001, компрессор с давлением до 6 атмосфер, плазмотрон с источником питания ДС120П.33, установка микроплазменного напыления МПН-004, разработанная в институте Патона, источник питания к ней фирмы Fronius Magic Wave 2200 Job G/F и охладитель к нему, а так же фрезерно-гравировальный станок с контроллером RZNC-0501.

Таблица 3.

1	Т 2	3	4
Код_устано-вки	tinyint	Да	Код установки плазменного напыления
Название_ус тановки	Char (1000)		Название установки плазменного напыления
Фото_устано вки	Char (1000)		Фото установки
Способ_нап ыления	Char (1000)		Способ напыления имплантов
Тип_напыле ния	Char (1000)		Тип напыления имплантов
Расстояние_ до_объекта	float		Расстояние до напыляемого объекта
Вспомогател ьное_оборуд ование	Char (1000)		Вспомогател ьное оборудовани е
Фирма-производите ль	Char (1000)		Фирма-произ-водитель

Робот представляет собой устройство, состоящее из подвижных частей с шестью степенями свободы для перемещения, установленного на нем оборудования по заранее заданному профилю, управляется посредством программируемого контроллера. На руке робота смонтировано устройство для плазменной обработки поверхности и для нанесения порошковых покрытий в потоке плазмы, в котором осуществляется генерация плазменного разряда и подача плазменного потока или порошка в плазменной струе в атмосфере аргона на подложку любой формы.

Установка предназначена для плазменного напыления металлических и керамических поверхностей деталей и узлов, к которым предъявляются повышенные эксплуатационные требования в отношении износостойкости, стойкости к коррозии, а также для восстановления изношенных поверхностей и состоит из инверторного источника питания с газоподготовкой, питателя порошка и плазмотрона. Технические характеристики плазменной установки: мощность плазмотрона 2 кВт, производительность напыления 2…3 кг/ч, рабочий ток плазмотрона 60А, рабочее напряжение дуги 30 В (рис.1) [7].



Рис.1. Плазмотрон для плазменного напыления

Имплант закрепляется в захвате манипуляционного робота 3d модель которого и расчет траекторий движения [11], [12] приведены на рис.2.

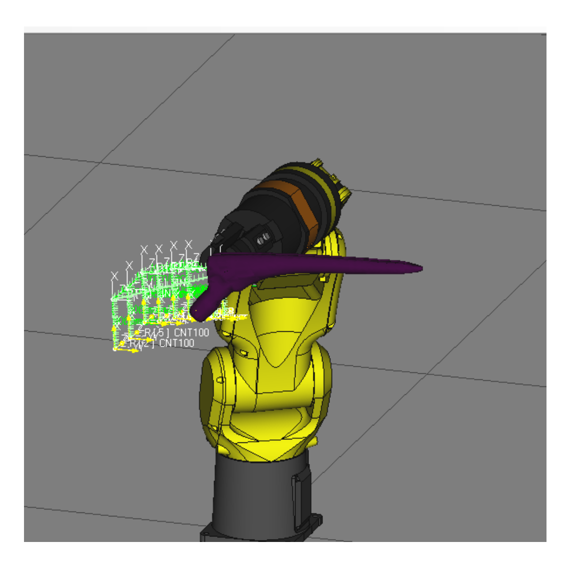


Рис. 2. Имплант в захвате манипуляционного робота

Плазмотрон зафиксирован на расстоянии 150 мм от импланта под углом 90^0, имплант фиксируется в захвате робота. Схема напыления импланта приведена на рис.3.

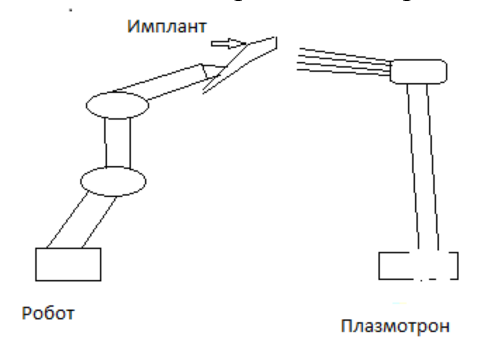


Рис.3. Схема напыления импланта

Заключение

В результате была разработана база данных имплантов и установок плазменного напыления в MS SQL Server 2012, которая позволяет осуществлять: учет существующих и возможных имплантов различных производителей; классификацию имплантов по типу применения и материала изготовления; сортировку имплантов по геометро-топологическим размерам составляющих; обновление, запись элементов, добавление новых полей.

Разработана система классификации имплантов по типу применения и материалам изготовления, классифицированы им-

планты по геометро-топологическим размерам составляющих.

Описана схема плазменного напыления металлических и керамических поверхностей деталей и узлов с использованием роботизированного комплекса.

Литература

1. http://rusplt.ru/world/splav-muskulov-i-stali-10827.html#
2. http://irobs.ru/roboty-dlya-napyileniya
3. Коробков А. В., Чеснокова С. В. Атлас по нормальной физиологии / ред. проф. Н. А. Агаджанян. — М.: Высшая школа, 1987. — 351 с.
4. Karymsakova I.B., Krak Iu.V., Denissova N.F. Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. 2017. Volume 5, Issue 3. – P.44-52.
5. http://studall.org/all-109356.html
6. http://metcompozit.ru/tech.html
7. Alontseva, D., Krasavin, A., Kolesnikova T., Russakova, A. Modeling of Processes Taking Place during Powder Coating Treatment by an Electron Beam or a Plasma Jet// Acta Physica Polonica A Vol. 125, No. 6, 2014. - P. 1275-1279
8. Виноградов М.И., Маишев Ю.П. Вакуумные процессы и оборудование ионно- и электронно-лучевой технологии. - М.: Машиностроение, 1989. - 56 с.
9. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления. учеб. пособие, 2003.
10. http://plasma.y1.ru/p1.html
11. Кириченко Н.Ф., Крак Ю.В., Сорока Р.А. Оптимизация манипуляционных роботов. К.: Лыбидь, 1991, 144с.
12. Krak Y.V. Coordination Approach to the Organization of Motion of Manipulation Robots. Journal of Automation and Information Sciences. 1997, Vol. 29., Issue 2-3. pp.22-29. DOI: 10.1615 /JAutomatInfScien.v29.i2-3.50

References

1. http://rusplt.ru/world/splav-muskulov-i-stali-10827.html#
2. http://irobs.ru/robotyi-dlya-napyileniya1
3. Korobkov A.V., Chesnokova S.V. Atlas po normalnoi phisiologii/ red. Prof. N.A.Agadjanyan. – M.: Vyshaya shkola, 1987 – 351 shttp://metcompozit.ru/tech.html
4. Karymsakova I.B., Krak Iu.V., Denissova N.F. Criteria for implants classification for coating implants using plasma spraying by robotic complex // Eurasian Journal of Mahtematical and Computer Applications. 2017. Volume 5, Issue 3. – P.44-52.
5. http://studall.org/all-109356.html
6. http://metcompozit.ru/tech.html
7. Alontseva, D., Krasavin, A., Kolesnikova T., Russakova, A. Modeling of Processes Taking Place during Powder Coating Treatment by an Electron Beam or a Plasma Jet// Acta Physica Polonica A Vol. 125, No. 6, 2014. - P. 1275-1279
8. Vinogradov M.i., Maishev Y.P. Vakuumnie processy i oborudovanie ionno- I elektronno-luchevoi technologii. – M.: Mashinostroenie, 1989. - 56 s.
9. Pusirkov A.F. Teoreticheskie osnovy technologii plazmennogo napylenya, 2003
10. http://plasma.y1.ru/p1.html
11. Kirichenko N.F., Krak Iu.V., Soroka P.O. Optimizaciya manipulyacionnih robotov. К.: Lybid, 1991, 144 c.
12. Krak Y.V. Coordination Approach to the Organization of Motion of Manipulation Robots. Journal of Automation and Information Sciences. 1997, Vol. 29., Issue 2-3. pp.22-29. DOI: 10.1615 /JAutomatInfScien.v29.i2-3.50

RESUME

I.B. Karymsakova, N.F.Denissova, Iu.V. Krak

Development of a robotic plasma spraying system for biocompatible coatings

The purpose of this article is to classify and develop a database of implants for various criteria, plasma deposition plants for the subsequent development of an effective control system for a robotic complex for plasma spraying implants.

Implants are a class of medical devices used for implantation into the human body in the form of prostheses instead of lost or broken parts of the human body.

The production of implants is a developed industry, in which many manufacturing companies are involved.

Implants differ in physical size, and these dimensions for each case of implant installation should be their own. This raises the problem of parametric design of such implants. Geometry-topological parameters are: length, diameter, width, arc length, clamp length, clamping diameter, rectangle length, height, length of proximal stem, length of distal stem, stalk diameter, etc. Thus, a system for classifying implants according to the type of application and manufacturing materials has been developed, and implants have been

classified according to the geometric-topological dimensions of the components for subsequent plasma spraying.

The developed database is designed for: accounting for existing and possible implants of different manufacturers; classification of implants by type of application and material of manufacture; classification of implants according to the geometric-topological dimensions of the components; update, record elements, add new fields; logical data model reflects the logical relationships between the database entities.

Information-logical model of the domain is a generalized informal description of the database being created. This informal description serves as the basis for creating a formal relational model.

The physical model of the database should reflect the requirements of a particular database, in this case MS SQL Server 2012, so it includes tables that contain information about information objects and the relationships between them. All tables of the data logical model can be divided into tables with operational information and tables with conditionally-constant information.

In the production of metal implants, it is necessary to distinguish the following stages: the stage of manufacturing the implant itself and the stage of processing its surface. Surface treatment is an important final step in determining the biotolerance of implants. Implants of titanium and cobalt-chromium composition are made by the method of casting, milling and turning, powder metallurgy, hot stamping, electrochemical machining and stamping with subsequent milling.

On the basis of the East Kazakhstan State Technical University named after D.Serikbaev there is: industrial robot of firm Kawasaki RS-010L, with controller E40F-A001, compressor with pressure up to 6 atmospheres, plasmatron with power supply DS120P.33, microplasma spraying device MPN-004, developed at the Paton Institute, a power source for her firm Fronius Magic Wave 2200 Job G / F and a cooler to it, as well as a milling and engraving machine with a controller RZNC-0501.

The system of classification of implants according to the type of application and manufacturing materials has been developed, implants have been classified according to the geometric-topological dimensions of the components.

A scheme of plasma spraying of metal and ceramic surfaces of parts and assemblies using a robotic complex is described.

Надійшла до редакції 20.02.2019